

УДК 669.187.001.2

**Технологические методы получения наносорбентов на основе углеродных материалов** // Алали М, Кричковська Л. В, Дубонос В. Л. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. – № 1 (977). – С. 189-193. – Бібліогр.: 7 назв.

В работе рассмотрена возможность использования углеродных материалов в качестве катализаторов и сорбентов. В последнее время уделяется много внимания материалам на основе углерода. Изделия на их основе обладают высокой твердостью при наличии малой массы, стойки против воздействия как высоких, так и низких температур, обладают электропроводностью, хорошо совместимы с биологическими тканями человека.

**Ключевые слова:** нанотрубки, сорбенты, катализаторы.

In current study the possibility to use carbon materials as catalysts and sorbents has been reviewed. In the recent years a great attention is drawn to the carbon - based materials. The products on their basis have got a high strength, low weight, resistant to the high and low temperatures, have good electrical conductivity, are compatible with biological tissues of human. Вироби на їх основі мають високу міцність при малій вазі, стійкі до впливу як високих, так і низьких температур, хімічних агентів, електропровідні, добре сумісні з біологічними тканинами людини.

**Key words:** nanotubes, sorbents, catalysts.

УДК 536.24

**А. П. СЛЕСАРЕНКО**, д-р физ.-мат. наук, проф., вед. н. с., Институт проблем машиностроения А.М. Подгорного НАН Украины, Харьков;

**Ю. О. КОБРИНОВИЧ**, аспирант, Институт проблем машиностроения А.М. Подгорного НАН Украины, Харьков

## **ВИЗУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СОГЛАСОВАННЫХ ДИСПЛЕЯХ**

Предлагается методология визуального исследования результатов моделирования высокоскоростных тепловых процессов, разработанная на базе построенных аналитических структур решения с использованием S-функций, точно удовлетворяющих осциллирующим условиям теплообмена на границах областей сложной формы. Определен класс точных решений задач теплопроводности с нестационарными граничными условиями для областей сложной формы, приведены результаты визуального исследования высокотемпературных тепловых процессов.

**Ключевые слова:** визуальные исследования, математическое моделирование, высокоскоростные тепловые процессы.

**Постановка проблемы исследования.** Математическое моделирование теплофизических процессов не является самоцелью, оно применяется для научных исследований, построения прогнозов и принятия решений при управлении процессами. Средства анализа результатов математического моделирования должны позволять рассматривать тонкую структуру процесса и учитывать все факторы, в том числе зависимость тепловых процессов от времени и координат, поэтому всесторонний анализ данных невозможен без визуализации температурных полей в динамике.

Результатом математического моделирования численными методами являются большие массивы дискретных данных, задача сжатия которых еще не решена. В ряде случаев их можно преобразовать в аналитическую информацию с помощью интерполяционных полиномов, но для скоростных тепловых процессов даже построение эмпирических формул является сложной, и во многих случаях открытой проблемой.

Решение задачи теплопроводности численными методами при больших градиентах температурных полей приводит или к недопустимо высоким результирующим погрешностям или развалу вычислительного процесса из-за погрешностей дискретного удовлетворения быстроизменяющимся граничным условиям, осциллирующим внутренним источникам и дифференциальному уравнению теплопроводности.

Поэтому актуальна разработка приближенных аналитических методов решения задач теплопроводности, которые позволяют точно удовлетворять нестационарным граничным условиям и результат применения которых записывается в аналитическом виде.

Для качественного изучения тонкой структуры и прорыва в визуальных исследованиях высокоскоростных тепловых процессов необходима методология, позволяющая определять соответствующие классы точных решений.

**Анализ публикаций.** В начале 80-х г.г. XX века для визуальных исследований температурных полей использовался структурный метод [1]: коэффициенты для данного набора параметров моделирования определялись на большой ЭВМ, а визуализация температурного поля на основе параметров выполнялась на малой ЭВМ. Скорость работы определялась быстродействием малой ЭВМ, в качестве варьируемых параметров выступали теплофизические характеристики и температура среды, из-за использования R-функций допускалась нефизичность в описании геометрии исследуемого объекта [2], а из-за маломощности вычислительной техники задачи были ограничены стационарными задачами теплопроводности.

Помимо работы [1] специальных упоминаний о визуально-аналитических исследованиях задач теплопроводности в литературе найти затруднительно. В других областях визуальная аналитика результатов многопараметрического моделирования получила широкое развитие, и встречает ряд общих проблем [3], связанных со сложностью синтеза решений подзадач по вариации наборов факторов моделирования, учетом факторов и корректностью входных данных.

Из-за сложности расчетов многих симуляций, перспективно развитие он-лайн визуализации (вычислительный процесс разбивается на набор параллельных и распределенных вычислений, выполняемых на удаленном компьютере) и удаленной визуализации (на удаленном компьютере происходит и процесс вычислений, и процесс построения визуализации) [4]. Пользователь должен иметь возможность управлять вычислительной программой в ходе ее работы (останавливать, создавать контрольные точки и т.п.) и наблюдать за построением визуализации в реальном времени. Сегодня стандартные пакетные планировщики и средства программирования не позволяют интерактивно извлекать данные из удаленных программ и управлять их работой. Для он-лайн визуализации разрабатываются специальные системы, включающие компоненты вычислительных процессов (вычислительные программы), сервисы-посредники и программы визуализации.

Пока не решена проблема универсальной он-лайн визуализации, остается нереализованной идея создания виртуального испытательного стенда – среды для проведения вычислительного эксперимента.

Для удаленной визуализации недостаток тот же, что и отмечен в работе [1] –задержка времени на этапе визуализации из-за относительной малой мощностью второго компьютера.

В работе [5] предложена программная система решения обратных задач методами регуляризации и итерационной аппроксимации, работа с программой заключается в подборе параметров и анализе результатов. Благодаря организации параллельной инфраструктуры и он-лайн визуализации, исследователь одновременно наблюдает на экране монитора за всеми визуализируемыми вычислительными процессами.

Основные направления развития научной визуализации [6]:

- адаптация существующих методов и концепций к применению на параллельных вычислительных системах;
- разработка методов анализа данных и их синтез с методами выразительности;
- создание в классах задач баз экспериментальных и расчетных данных;
- развитие систем автоматического многопараметрического анализа;

Решению задач теплопроводности с нестационарными граничными условиями в приближенной аналитической форме посвящены работы [7-12]

**Цель работы.** Разработка визуально-аналитического метода, позволяющего на базе структур решений для многопараметрических задач теплопроводности с осциллирующими граничными условиями, проводить комплексную диагностику и прогнозирование высокоскоростных тепловых процессов

**Основные материалы исследования.**

**Визуальные исследования многопараметрических задач.** Математическое моделирование температурного поведения объекта включает исследование при вариациях следующих групп параметров:

- теплофизические характеристики материала
- характер теплообмена с окружающей средой
- температура окружающей среды у границы областей объекта
- геометрия исследуемого объекта
- характер поведения и распределение внутренних источников и стоков энергии.
- этапы и продолжительность температурного воздействия.

Процесс моделирования по всем варьируемым параметрам можно представить в виде сложного графа, каждая ветвь которого – моделирование во времени по выбранному набору параметров и соответствующее ей принятие решения о продолжении или отмене исследования при данном наборе параметров.

Ситуация, когда предварительно сформулированные ветви графа многопараметрического моделирования и соответствующая каждой из них динамическая симуляция процесса, рассчитываются, и результаты расчета выводятся на дисплей поочередно, оправдана для численного моделирования, которое для сложных задач требует относительно большого машинного времени и машинной памяти для решения каждой конкретной подзадачи.

С развитием приближенных аналитических методов стала возможной организация математического моделирования теплофизических процессов во времени, когда решения задач со всеми отобранными наборами параметров решаются одновременно в реальном масштабе времени, а результаты решения выводятся одновременно на согласованные дисплеи (или один дисплей для простых симуляций). Это ускоряет процесс визуального изучения результатов решения и последующего принятия решения, для перехода к следующему этапу моделирования. Таким образом, единичным этапом многопараметрического моделирования становится не анализ решения с одним набором параметров, а анализ семейства решений с выбранными наборами параметрами.

Поскольку приближенные аналитические методы позволяют сохранять информацию о симуляции в сжатом виде, без потери точности из-за интерполяции и занимают значительно меньше машинной памяти, возможна автоматическая документация процесса многопараметрического моделирования. Построенный граф исследования сохраняет на каждой ветви как информацию о решении задачи при принятых параметрах, так и решение оператора о дальнейшем моделировании задачи с данным набором параметров. Суммарный граф исследования может быть визуализирован с помощью современных методов построения графов (перспективными представляются методы «фокус плюс контекст») для последующего изучения или хранения полученной информации в удобной форме.

**Класс точных решений задач теплопроводности.** На базе регионального и регионально-структурного методов [1, 7] разработан класс точных решений задач теплопроводности для двухсвязных областей сложной формы. В предлагаемых точных решениях теплофизические характеристики материала, краевые условия и геометрия исследуемого объекта учитывается точно. Разработанные точные решения записываются в

замкнутом виде и обладают свойством консервативности. Благодаря использованию S-функций, геометрия исследуемой области (тела) близка к геометрии реальных тел – S-функции позволяют задать скругление на углах (гранях) исследуемого объекта, которым обладают все реальные физические области и тела.

Изменение температуры среды, критерия Био или геометрии исследуемого объекта не требует перестройки аналитической формы точного решения, поэтому возможно быстрое построение множества мажорантных решений задачи на базе одного точного решения и организация визуальных исследований моделей, перестраиваемых в реальном масштабе времени.

Для двухсвязных областей поперечного сечения элементов конструкции (ПСЭК), характерный размер ПСЭК значительно меньше характерного размера конструкции, разработаны точные решения (1) – (6) на базе регионального метода [1] и решение (7) на базе регионально-структурного метода [7]:

1. Точные решения (1) - (3), в случае, когда для двух границ тела температура среды ( $T_c(Fo)$ ) одинакова, а критерии Био, зависящие от времени, различны ( $Bi_1(Fo)$  и  $Bi_2(Fo)$  - критерии Био для наружной и внутренней границы тела соответственно):

$$T(x, y, Fo) = T_c(Fo) + \left(1 + \left[W_1(x, y)^2 \wedge_s W_2(x, y)\right] Bi_1(Fo) \right) \left(1 + \left[W_2(x, y)^2 \wedge_s W_1(x, y)\right] Bi_2(Fo)\right) \quad (1)$$

$$T(x, y, Fo) = T_c(Fo) + 1 + \frac{W_1(x, y)^2 W_2(x, y) Bi_1(Fo) + W_2(x, y)^2 W_1(x, y) Bi_2(Fo)}{W_1(x, y)^2 + W_2(x, y)^2} \quad (2)$$

$$T(x, y, Fo) = T_c(Fo) + \exp\left(\left[W_1(x, y)^2 \wedge_{ps} W_2(x, y)\right] Bi_1(Fo) + \left[W_2(x, y)^2 \wedge_{ps} W_1(x, y)\right] Bi_2(Fo)\right) \quad (3)$$

где  $W_1(x, y)$  и  $W_2(x, y)$  - функции, описывающие внешнюю и внутреннюю границу области, построенные с помощью S-функций [2;9] и соответствующих опорных функций.

2. Точные решения (4) и (5), в случае, когда для двух границ тела температура среды ( $T_c(Fo)$ ) одинакова, внешняя граница строится с помощью двух опорных функций  $\omega_1(x)$  и  $\omega_2(y)$ , каждая из которых описывает одну из внешних сторон области, критерий Био различен для внутренней границы области ( $Bi_2(Fo)$ ) и для двух внешних сторон  $Bi_{11}(Fo)$  и  $Bi_{12}(Fo)$ , соответствующих опорным функциям  $\omega_1(x)$  и  $\omega_2(y)$ .

$$T(x, y, Fo) = T_c(Fo) + 1 + \frac{W_2(x, y)^2 (\omega_1(x) \omega_2(y)^2 Bi_{11}(Fo) + \omega_1(x)^2 \omega_2(y) Bi_{12}(Fo))}{\omega_1(x)^2 \omega_2(y)^2 + W_2(x, y)^2 (\omega_1(x)^2 + \omega_2(y)^2)} + \frac{W_2(x, y) \omega_1(x)^2 \omega_2(y)^2 Bi_2(Fo)}{\omega_1(x)^2 \omega_2(y)^2 + W_2(x, y)^2 (\omega_1(x)^2 + \omega_2(y)^2)} \quad (4)$$

$$T(x, y, Fo) = T_c(Fo) + \left(1 + \left[\omega_1(x) \wedge_s (\omega_2(y) W_2(x, y))^2\right] Bi_{11}(Fo)\right) \times \left(1 + \left[\omega_2(y) \wedge_s (\omega_1(x) W_2(x, y))^2\right] Bi_{12}(Fo)\right) \cdot \left(1 + \left[W_2(x, y) \wedge_s (\omega_2(y) \omega_1(x))^2\right] Bi_2(Fo)\right) \quad (5)$$

3. Точное решение (6), когда температура среды ( $T_c(Fo)$ ) и критерии Био ( $Bi_o(Fo)$ ) одинаковы для всех границ области,  $Wo(x, y)$  общее уравнение границ области

$$T(x, y, Fo) = T_c(Fo) + \exp(Wo(x, y) Bi_o(Fo)) \quad (6)$$

4. Точное решение (7), когда температура среды различна для внутренней и внешней границы области ( $T_{cp1}(Fo)$  и  $T_{cp2}(Fo)$  соответственно), критерии Био так же различны для внутренней и внешней границы области ( $Bi_1(Fo)$  и  $Bi_2(Fo)$ )

$$T(x, y, Fo) = \begin{cases} T_1(x, y, Fo), & x \geq x_{12}, y \geq y_{12}; \\ T_2(x, y, Fo), & x \leq x_{12}, y \leq y_{12} \end{cases}$$

$$T_1(x, y, Fo) = T_{cp1}(Fo) \exp(-p_1 W_1(x, y)^2) + \gamma(Fo) (1 + W_1(x, y) Bi_1(Fo)) \exp(-p_1 W_1(x, y)^2); \quad (7)$$

$$T_2(x, y, Fo) = T_{cp2}(Fo) \exp(-p_2 W_2(x, y)^2) + \gamma(Fo) (1 + W_2(x, y) Bi_2(Fo)) \exp(-p_2 W_2(x, y)^2)$$

где  $p_1 = \text{const}; p_2 = \text{const}; x_{12}$  и  $y_{12}$  - общая граница для двух регионов.

### Визуальное исследование результатов моделирования

1. ПСЭК в виде квадрата со сторонами  $[-1;1]$  и квадратным вырезом в центре со стороной 0.3, с сильным скруглением всех углов (рис.1а).

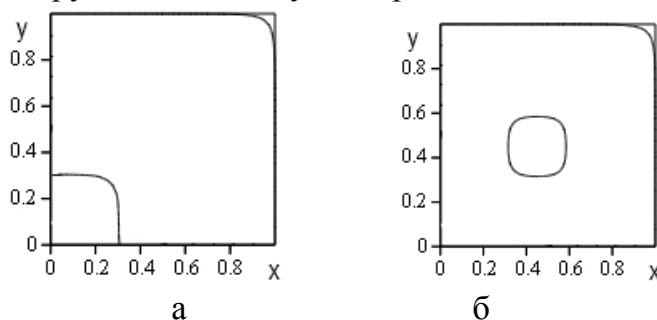


Рис. 1 - ПСЭК со сторонами  $[-1;1]$ , квадратным вырезом со стороной 0.3 и скругленными углами, центр выреза  $[0;0]$  - а  $[0.45;0.45]$  - б

$$W_1(x, y) = \omega_1(x) \wedge \omega_2(y); W_2(x, y) = \omega_3(x) \wedge \omega_4(y); \omega_1(x) = 0.5(1 - x^2); \omega_2(y) = 0.5(1 - y^2);$$

$$\omega_3(x) = -0.5a^{-1}(a^2 - x^2); \omega_4(y) = -0.5a^{-1}(a^2 - y^2); a = 0.3;$$

$$Tc(Fo) = Tc_1(Fo) = Tc_2(Fo) = 100 + 120(1 - J_0(500Fo))$$

$$Bi(Fo) = Bi_1(Fo) = Bi_2(Fo) = 7(\sin(500Fo) + 1.2); x_{12} = y_{12} = 0.65; \gamma = 50; p_1 = p_2 = 10; k = 20$$

На рис. 2-4 показана температура и правая часть уравнения теплопроводности для точных решений (1) – (7) в момент времени  $0.014Fo$

2. ПСЭК в виде квадрата со сторонами  $[-1;1]$  и квадратным вырезом со стороной 0.3, смещенным относительно центра, с сильным скруглением углов (рис.1 б).

$$W_1(x, y) = \omega_1(x) \wedge \omega_2(y); W_2(x, y) = \omega_3(x) \wedge \omega_4(y); \omega_1(x) = 0.5(1 - x^2); \omega_2(y) = 0.5(1 - y^2);$$

$$\omega_3(x) = -0.5(a_2 - a_1)^{-1}(a_2 - x)(x - a_1); \omega_4(y) = -0.5(a_2 - a_1)^{-1}(a_2 - y)(y - a_1); a_1 = 0.3; a_2 = 0.6;$$

Температура среды одинакова для внутренней и внешней границы, но условия теплообмена различны для разных сторон:

$$Tc(Fo) = Tc_1(Fo) = Tc_2(Fo) = 100 + 120(1 - J_0(500Fo))$$

$$Bi_2(Fo) = 7(\sin(500Fo) + 1.2); Bi_{11}(Fo) = 5\sin(300Fo + 10) + 60; Bi_{12}(Fo) = Bi_{11}(Fo) \div 5; k = 20$$

На рис.4. показана температура и правая часть уравнения теплопроводности для точных решений (4) – (5) в момент времени  $0.014Fo$

3. ПСЭК в виде креста, образованного полосами  $1 \times 0.6$ , с вырезом в виде окружности радиусом  $r=0.3$  в центре ПСЭК (рис.5а) и такой же ПСЭК, с отверстием радиусом  $r=0.2$ , с центром в координатах  $[0.3;0.3]$  (рис. 5б).

$$W_1(x, y) = [\omega_1(x) \wedge \omega_2(y)] \wedge [-(\omega_3(x) \wedge \omega_4(y))]; \omega_1(x) = 0.5(1 - x^2); \omega_2(y) = 0.5(1 - y^2);$$

$$\omega_3(x) = -0.5a^{-1}(a^2 - x^2); \omega_4(y) = -0.5a^{-1}(a^2 - y^2); a = 0.6; k = 100;$$

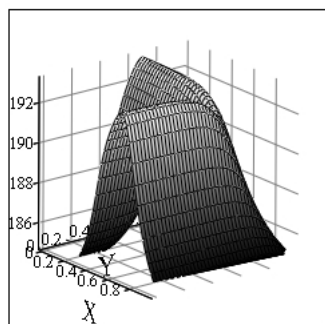
Для ПСЭК рис. 5а  $W_2(x, y) = (\sqrt{x^2 + y^2} - r)(2r)^{-1}$ , для ПСЭК рис. 5б  $W_2(x, y) = (\sqrt{(x-0.3)^2 + (y-0.3)^2} - r)(2r)^{-1}$

Температура среды одинакова для внутренней и внешней границы, критерии Био для внутренней и внешней границы различны.

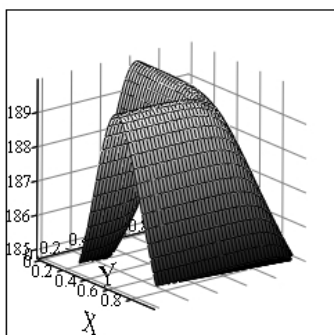
$$Tc(Fo) = Tc_1(Fo) = Tc_2(Fo) = 100 + 120(1 - J_0(500Fo))$$

$$Bi_2(Fo) = 7(\sin(500Fo) + 1.2); Bi_1(Fo) = 5\sin(300Fo + 10) + 60;$$

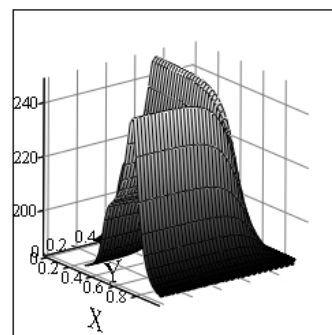
На рис. 6 показана температура ПСЭК в момент времени  $0.014Fo$  для точных решений (1) и (2)



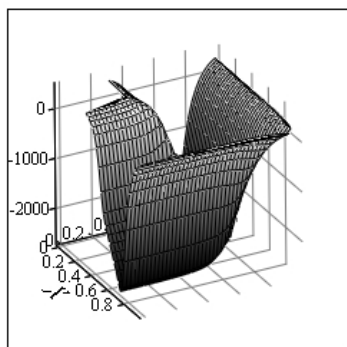
а



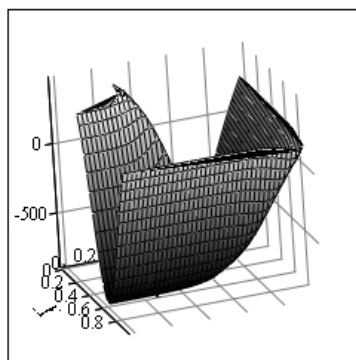
в



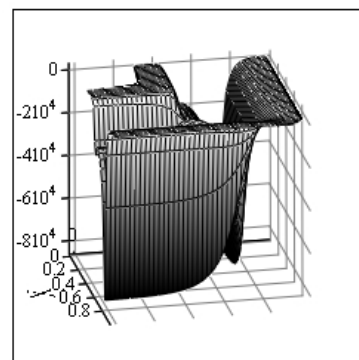
д



б

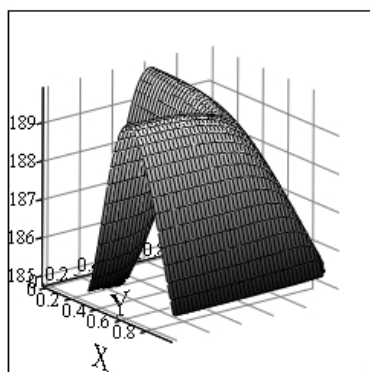


г

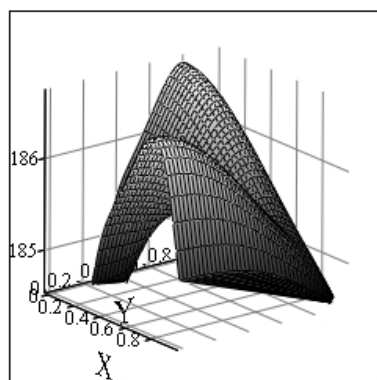


е

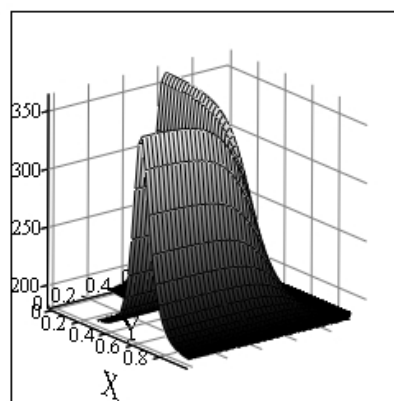
Рис.2 - Температура ПСЭК (а, в, д) и правая часть (б, г, е) для точных решений (а), (б) – (1); (в) (г) – (2), (д), (е) – (3)



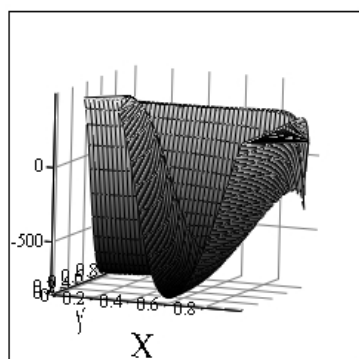
а



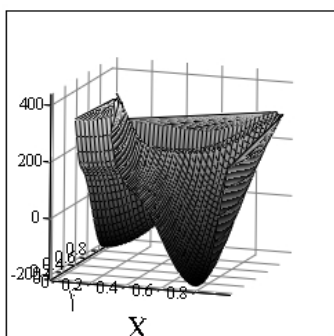
в



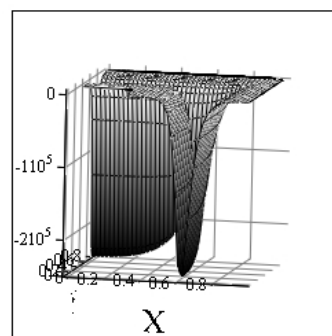
д



б



г



е

Рис.3 - Температура ПСЭК рис. 1а (а, в, д) и правая часть (б, г, е) для точных решений (а), (б) – (4); (в) (г) – (5), (д), (е) – (6)

4. ПСЭК в виде креста, рис. 5а и рис.5б, с различными критериями Био на внутренней и внешней границе и различными значениями температуры среды на внутренней и внешней границе, изменяющимися как функция Бесселя.

$$Bi_2(Fo) = 7(\sin(500Fo) + 1.2); Bi_1(Fo) = 5\sin(300Fo + 10) + 60;$$

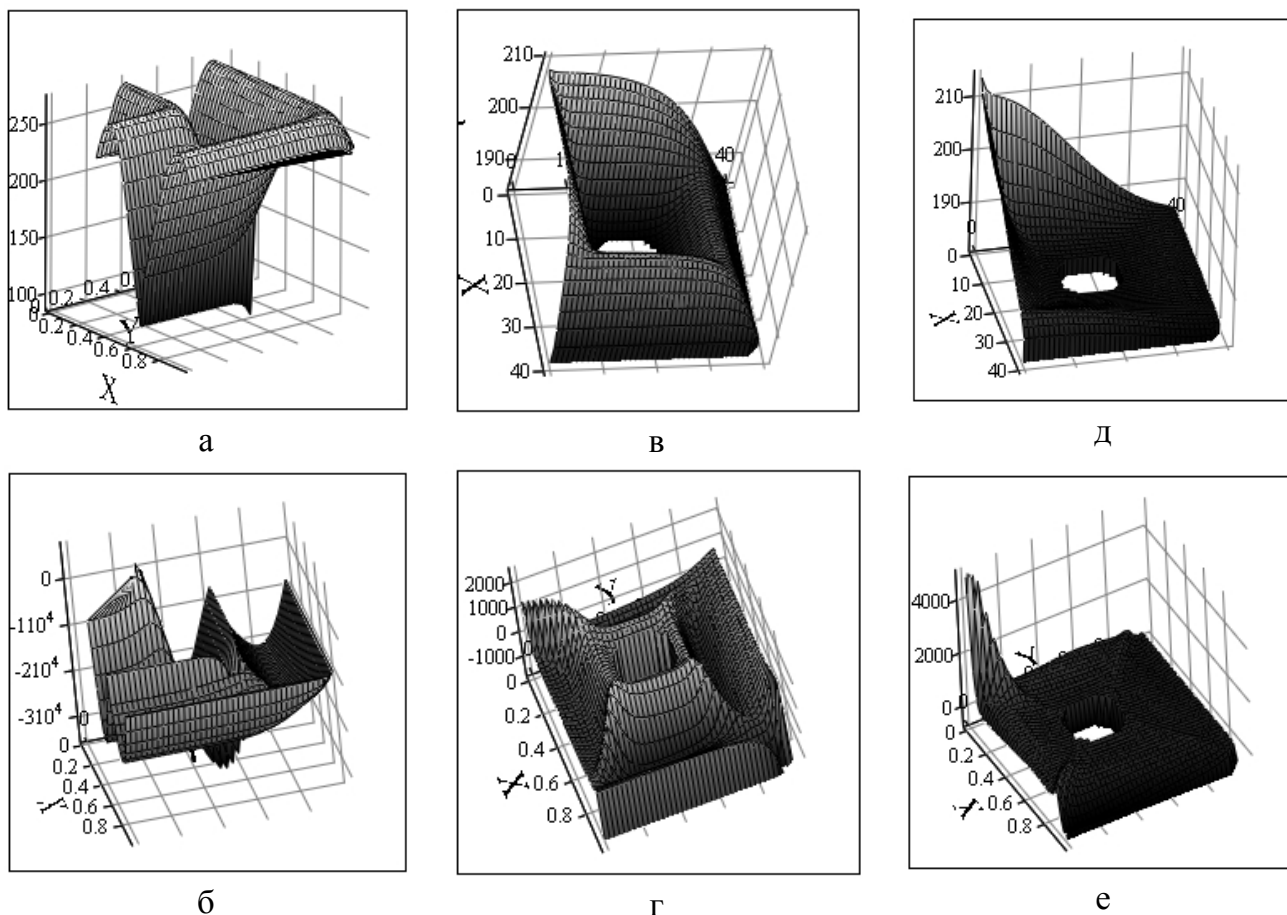


Рис.4 - Температура ПСЭК - а, в, д, и правая часть - б, г, е для точного решения (7) ПСЭК рис. 1а (а и б), и для точных решений (4) - в, г, и (5) (д, е) для ПСЭК рис. 1б.

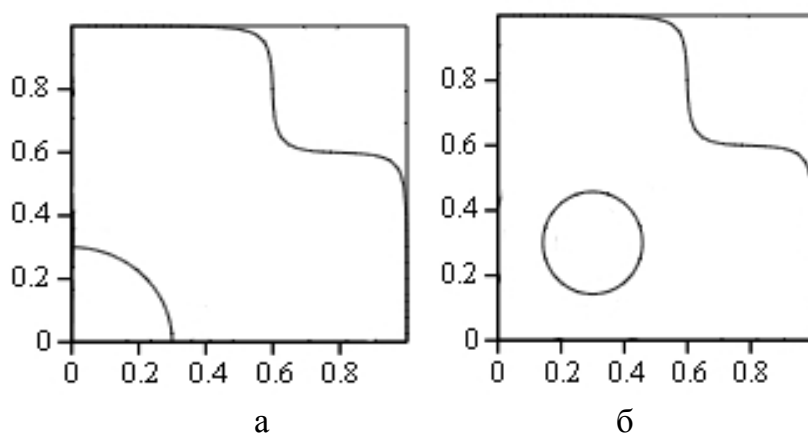


Рис. 5 - ПСЭК в виде креста, образованного полосами 1x0.6 с круглым отверстием радиусом 0.3, центр отверстия [0;0] - а и [0.45;0.45] - б

$$Tc_1(Fo) = 100 + 120(1 - J_0(500Fo)); Tc_2(Fo) = 50(1 + J_0(300Fo)) \quad \gamma = 50, k = 200$$

Граница раздела регионов – окружность, центр которой совпадает с центрами отверстий, а радиус равен 0.5 для ПСЭК, изображенной на рис.2а и 0.35 для ПСЭК, изображенной на рис. 2б.

На рис. 6 в и рис. 6 е показана температура для ПСЭК в момент времени  $0.014Fo$  для точных решений (7)



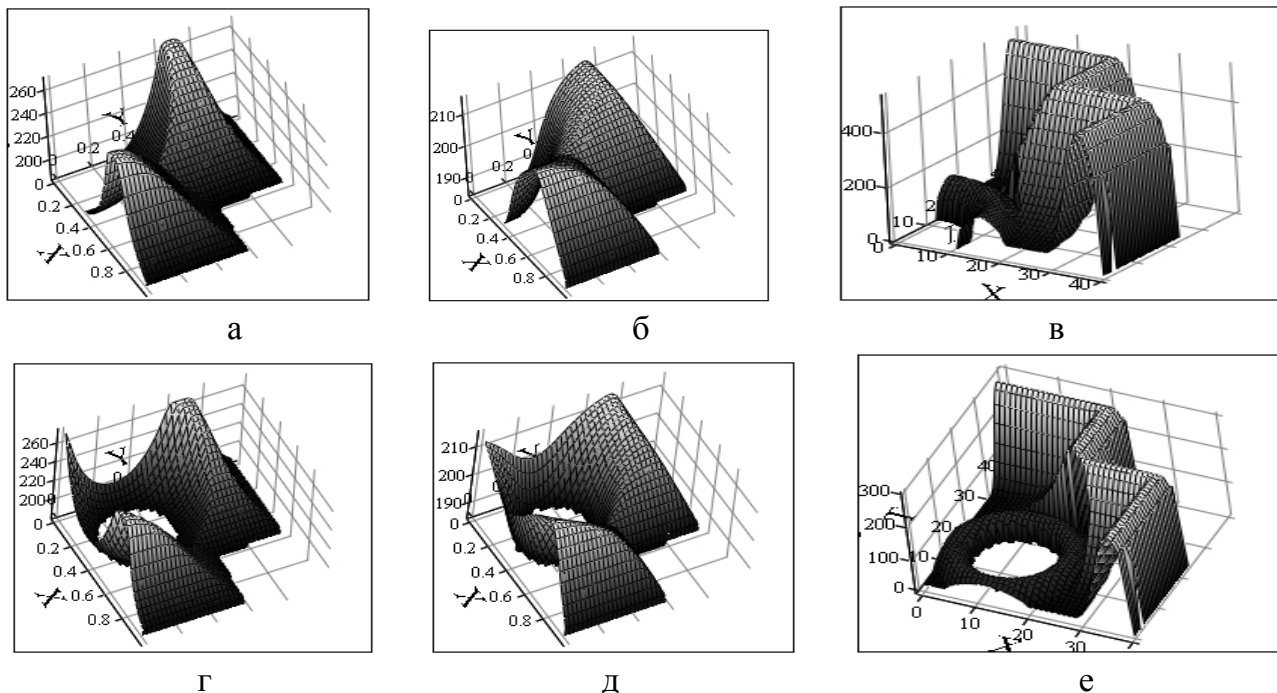


Рис. 6 - Температура ПСЭК рис. 5а (а, б, в) и ПСЭК рис. 5б (г, д, е) для точных решений (1) – (а), (г), (2) – (б), (д) и (7) – (в), (е)

**Выводы.** Построенные приближенные аналитические решения задач теплопроводности, точно удовлетворяющие осциллирующим граничным условиям для областей сложной формы дали возможность на новом качественном уровне разработать визуально-аналитический метод, который лег в основу методологии визуального исследования результатов моделирования высокоскоростных тепловых процессов.

Разработана методология построения класса точных решений задач теплопроводности с нестационарными граничными условиями для областей сложной формы, которая позволяет на новом качественном уровне определять постановки тестовых задач, максимально приближенных к реальным научно-практическим задачам. В тестовых задачах точно сохраняются как геометрия, так и краевые условия поставленных научно-практических задач. От научно-практических такие задачи отличаются только начальными условиями и функцией в правых частях уравнений теплопроводности, которая характеризует распределение внутренних источников и стоков энергии.

Данный подход позволяет строить мажорантные решения для задач по отношению к соответствующим научно-практическим задачам, точные решения которых дают результаты с избытком и недостатком по температуре по отношению к решениям научно-практических задач. Становится возможным предварительно моделировать широкий диапазон тепловых процессов в конструктивных элементах на стадии точных решений, и выбирать оптимальные характеристики для уточнения решения реальных научно-практических задач.

Результаты мажорантных решений задач выводятся на согласованные дисплеи (или на одном дисплее для небольших областей) в реальном масштабе времени, что многократно ускоряет процесс визуальной аналитики и принятия решений.

**Список литературы:** 1. Рвачев, В. Л. Алгебро-логические и проекционные методы в задачах теплообмена [Текст] / В. Л. Рвачев, А. П. Слесаренко // Киев «Наукова думка», 1978 С.41 – 45 2. Слесаренко А. П. S-функции в обратных задачах дифференциальной геометрии и управлении образования форм [Текст] / А. П. Слесаренко // Восточно-Европейский Журнал Передовых Технологий. - 2012. - Т1, № 4(55). - С. 4—10. - Режим доступа : URL : <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3310> 3. Андриенко, Г. Визуально исследование результатов моделирования лесных экосистем [Электронный ресурс] / Г. Андриенко, Н. Андриенко - Режим доступа : URL : <http://www.ais.fraunhofer.de/and> 4. Авербух, В. Л. Опыт разработки



специализированных систем научной визуализации [Электронный ресурс] / В. Л. Авербух, А. Ю. Байдалин, М. О. Бахтеев, и др. - Режим доступа : URL : <http://sv-journal.com/2010-4/02/index.html> 5. Vasin V.V. On parallelizing and visualization in solving ill-posed problems by regularization and the iterative approximation to the computer system MVS-1000 [Текст]/ V.V. Vasin , T.I. Serezhnikova, S.V. Scharf, P.A. Vasev// "Parallel Computing Technologies 2007", Proceedings of the conference, vol. 2, pp. 227-233. 6. Бондарев, А. Е. Научная визуализация в задачах вычислительной физики: концепции, методы, перспективы [Электронный ресурс]/ А. Е. Бондарев, В. А. Галактионов/ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН - Режим доступа : URL :<http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/dep20/publ2010/Bondarev-1-ed.pdf> 7. Слесаренко, А. П. Развитие алгебрологического метода и его приложения к многомерным нелинейным задача теплопроводности для однородных и композитных сред [Текст] : автореф. дис. ...д-ра физ.-мат. наук: 01.04.14, 01.01.02 / А. П. Слесаренко. – М., 1984. – 36 с. 8. Темников, А. В. Современные приближенные аналитические методы решения задач теплообмена [Текст]: учеб. пособие / А. В. Темников, А. П. Слесаренко - Самара 1991 - 89 с. 9. Слесаренко, А. П. S-функции в построении консервативных структур решения геометрических обратных краевых задач / А. П. Слесаренко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2012. – Т. 2, N 4(56). – С. 60-66. – Режим доступа : URL : <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3714>. 10. Слесаренко, А. П. Структурно-разностный подход к математическому моделированию высокоскоростных тепловых процессов с нестационарным теплообменом на поверхности конструктивных элементов / А. П. Слесаренко, Ю.О. Кобринович // *Проблемы машиностроения*. – 2011 – Т. 14, №13. – С.66-75. 11. Слесаренко, А.П. Математическое моделирование высокоскоростных тепловых процессов при точном учете нестационарных осциллирующих условий теплообмена на поверхности конструктивных элементов / А. П. Слесаренко, Ю. О. Кобринович // *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. – 2011. - Т.5(70) – С.35-38 12. Слесаренко, А. П. Математическое моделирование тепловых процессов в телах сложной формы при нестационарных граничных условиях [Текст] / А. П. Слесаренко/ / *Проблемы машиностроения* – 2002.– Т. 5, №4. - С. 72 – 80

*Надійшла до редколегії 20.03.2013*

УДК 536.24

**Визуальные исследования результатов моделирования высокоскоростных тепловых процессов на согласованных дисплеях/ Слесаренко А. П., Кобринович Ю. О // Вісник НТУ «ХП».** Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 1 (977). – С. 193-201. – Бібліогр.: 12.назв.

Пропонується методологія візуального дослідження результатів моделювання високошвидкісних теплових процесів, розроблена на базі побудованих аналітичних структур розв'язку з використанням S-функцій, що точно задовольняють осцилюючим умовам теплообміну на межах областей складної форми. Визначено клас точних рішень задач теплопровідності з нестационарними граничними умовами для областей складної форми, наведені результати візуального дослідження високотемпературних теплових процесів. **Ключові слова:** візуальні дослідження, математичне моделювання, високошвидкісні теплові процеси.

In paper proposed a methodology for visual studies of the results of high-speed simulation of thermal processes, developed on the basis of analytical structures solutions using S-functions, which are exactly satisfy the conditions of an oscillating heat transfer at the complex boundary. The class of exact solutions of the heat equation with unsteady boundary conditions for the areas of complex shape is determined; the results of visual studies of high heat processes are shown.

**Keywords:** visual studies, mathematical modeling, high speed heat processes.

УДК 541.182.3:543

**Н. Ф. ДОБРИЦКАЯ**, аспирант, НТУ «ХПИ»;

**В. Б. ТРОШЕНЬКИН**, канд. техн. наук, ИПМаш НАНУ, Харьков;

**Н. Н. ЗИПУННИКОВ**, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»

## **МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОРОШКООБРАЗНЫХ И ГРАНУЛИРОВАННЫХ СПЛАВОВ**

В данной работе описан метод измерения удельной площади поверхности порошкообразных и